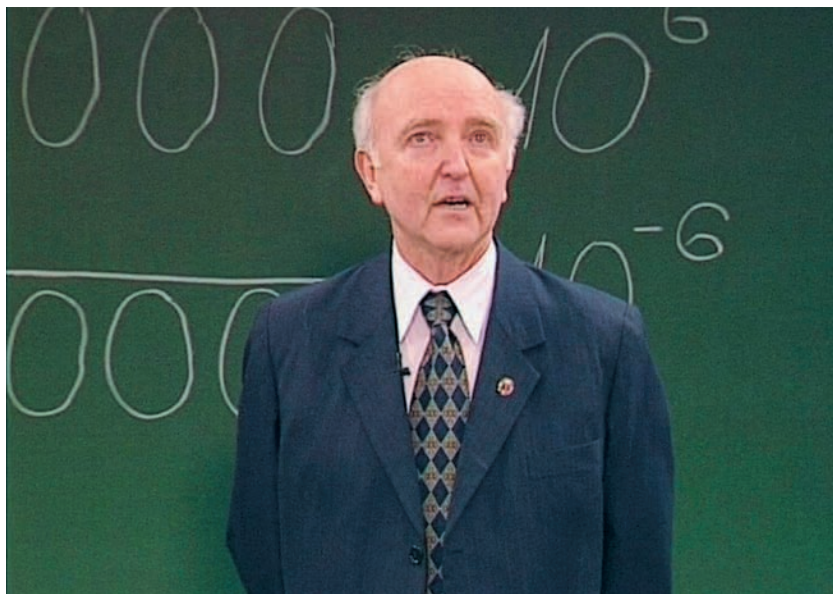


KROÓ NORBERT

Hol vannak a fizikai tudás határai?



*Kroó Norbert
fizikus, egyetemi tanár
az MTA főtákará*

A fizika tudománya a természet leírásának legalapvetőbb, legátfogóbb kísérlete. Habár egy öreg diszciplínával állunk szemben, a fizika leglátványosabb fejlődése mégis az elmúlt 150–200 évben történt. A 20. századra esett a modern fizika kialakulása, vagyis a kvantumelmélet és a relativitáselmélet megszületése. Az új felismerésekkel a fizikai megismerés határai kitolódtak, ami más természettudományok szerkezetét is átalakította, és számos új tudományág, például a molekuláris biológia, a kvantumkémia, az asztrofizika, a kozmológia stb. megszületését eredményezte. A kutatási módszerek is átalakulóban vannak, a tudományterületek közti klasszikus határvonalak egyre inkább elmosódnak.

A fizika korábban lehetetlennek látszó mérési pontosságot ért el sok területen, ennél fogva valószínű, hogy a fejlődés még jó ideig folytatódni fog. De még így sem hághatunk át alapvető, elvi korlátokat.

Bevezetés

A 20. század elején valaki megváltoztatta a jövőt anélkül, hogy egyetlen szavazatot nyert vagy egy hadsereget vezényelt volna. Csak egy ötlete volt, amit 1905-ben publikált. Albert Einsteinról van szó és a relativitáselmületről.

1934-ben született. 1958-ban végzett az ELTE Természettudományi Karának fizikus szakán. 1964-ben a fizikai tudományok kandidátusa, 1968-ban akadémiai doktora lett. 1985-től az MTA levelező, 1990-től rendes tagja, majd 1999-től főtákará.

Pályáját az MTA KFKI Szilárdtest-fizikai Kutatói Intézetében kezdte, ahol hosszabb-rövidebb megszakításokkal négy évtizeden át dolgozott; 1981–1998 között mint igazgató. Közben kutatásokat végzett Svédországban, igazgatóhelyettese volt a dubnai Egyesült Atomkutató Intézetnek. Az ELTE és a BME címzetes egyetemi tanára, 2000-től az Európai Tudományos Alapítvány kormányzótanácsának tagja.

Főbb kutatási területei: a szilárdtestek fizikája, az optika és a neutronfizika. Kísérleti munkái során foglalkozott új típusú lézerek létrehozásával és alkalmazásával, különös tekintettel az orvosi, technológiai és mérés-technikai felhasználásokra. 39 bejegyzett szabadalma van.



Neumann János
(1903–1957)

Einstein hozzájárult a fizika új aranykorának elindításához, és sokat tett a 20. század formálásáért. Hadd idézzek meg még valakit, valakit, aki csak tanított. Matematikát és tudományoszeretetet, és sokakat elindított pályájukon, többek között Neumann Jánost és Wigner Jenőt. Rátz tanár úrról beszélek, a Fasori Evangélikus Gimnázium tanáráról, akinek nagy szerepe volt abban, hogy a *Nature* című rangos tudományos folyóirat harmadik évezredbeli első számának vezércikke szerint a 20. századot Budapesten csinálták.

Einstein óta és részben miatta sokat változott a világ. Egy ország erejének már nem a lakosság száma vagy acéltermelésének volumene a mértéke, hanem a tudástőke, melynek jelentős hányadát a tudományos tudásalap képezi. És ez a tőke állandóan, sőt egyre gyorsabban nő, ismereteink határai egyre messzebbre tolódnak. Jogos tehát a kérdés: vannak-e tudásunknak határai?



Wigner Jenő (1902–1995)

Oly sok titkot fejtettünk már meg, hogy elvesztettük hitünket a megismerhetetlenségben. De ő itt ül közöttünk, és csendesen nyalogatja szája szélét.

(H. L. MENCKEN)

És vonatkozzék most ez a kérdés csak a tudományra. Mivel a 20. század eleje óta – talán sokak számára észrevétlenül – a fizika a többi természettudomány alapjává vált, és mivel én magam is fizikus vagyok, talán megengedhetem magamnak, hogy a fizikai tudás hatáiról beszéljek.

A fizika az élettelen anyaggal, annak változásával és a változásokat létrehozó erőkkel foglalkozó tudomány. Tevékenysége a Világegyetem óriási méreteitől az elemi részecsig, sőt azok építőköveiig igen széles spektrumot fed le. Vizsgálati módszereit a többi természettudomány is alkalmazza. Eredményei alapozták meg jelenlegi technikai kultúránkat, és nincs kétség afelől, hogy ez a jövőben is így lesz. Ez a történet persze nem most, hanem mintegy négyszáz évvel ezelőtt kezdődött, amikor először alkalmaztak a tudományos kutatásban mechanikus paradigmákat. A fizikai rendszerek és gépek közötti analógiát a klasszikus mechanika törvényei, valamint a differenciál- és integrálszámítás felfedezése hangsúlyosabbá tette, az ipar 18. századi mechanizálása pedig még tovább erősítette. Ez a folyamat szülte meg a 19. században a termodinamikát. Még J. C. Maxwell is mechanikus szerkezetekkel próbálta modellezni elektrodinamikai egyenleteit a 19. század második felében, ami azután gyorsan feledésbe merült.



Maxwell, James Clark
(1831–1879)

A tudomány viharos fejlődése a 19. század végén indult be, és azóta is tart. A kutatás prioritásai és működési módja, sőt módszerei is folyamatosan változnak. Változnak a célok is, a gazdasági hasznosság motiváló hatása egyre hangsúlyosabbá válik.

A fizika fejlődése, kutatási módszerek

„A tudomány sohasem tudja elérni végső célját, míg a művészet állandóan végpontjánál működhet.”

(ARTHUR SCHOPENHAUER)

A tudomány sokáig többé-kevésbé egységes egészet alkotott természetfilozófia néven. Mintegy 150–200 évvel ezelőtt vált szét a fizika és kémia, majd leváltak az élettudományok is. A művészetek és tudományok között jelenleg tapasztalt „szakadék” is csak néhány száz éves. Ezért természetes, hogy a fizika fejlődése befolyásolta a többi területet, és azok is a fizikát. Különösen a közelmúltban vált ez nyilvánvalóvá a fizikai kémia, a geofizika, az asztrofizika, a biofizika vagy a molekuláris biológia megjelenésével – e területek ugyanis a fizika elvein és módszerein alapulnak. A fizika nagyjából a múlt század közepéig a természet alaptörvényeinek megismerésére koncentrált, és ezt redukcionista megközelítéssel tette: a bonyolult folyamatokat, jelenségeket modellekkel próbálta leírni. A tudományos modell valamifajta analógia, a jelenség összehasonlítása valamivel, amit ismerünk, de általában egyszerűbb a vizsgált jelenségnél. Nézzük például a fényhullámok esetét. A fényhullámokat nem tudjuk megfigyelni úgy, ahogy a vízhullámokkal tesszük. Mégis hasznos a fényt hullámszerűnek tekinteni, mivel a kísérletek azt mutatják, hogy a fény sok szempontból hasonlóan viselkedik, mint a vízhullámok. A modellek gyakran segítenek megérteni a folyamatokat, és ezután olyan új kísérleteket is megindíthatnak, amelyek elmélyíthetik a jelenségről gyűjtött ismereteket.

A 20. század fizikájának az is jellemzője, hogy alapvetően **lineáris egyenletekkel** dolgozott. Ilyen természetesen a newtoni mechanika ($F = ma$, erő = tömeg \times gyorsulás), de a kvantummechanika is. Különösen a kvantummechanika 20. századi óriási sikereinek köszönhető, hogy a tudósok a fizikát a linearitás keretén belül próbálták tartani, az ettől való eltéréseket csak „szükséges rossznak”, perturbációnak tekintették. Mellesleg nem is nagyon volt eszköz nemlineáris egyenletek kezelésére. A múlt század vége felé már egyértelművé vált, hogy a világ alapvetően nemlineáris, és a számítástechnika lehetőséget is teremtett a nemlineáris összefüggések matematikai kezelésére, illetve megoldására és modellezésére (pl. káosz, komplex rendszerek).

Ezzel a folyamattal párhuzamosan megváltozott a fizikai kutatás jellege is. Az alaptörvények feltárása helyére a törvények alkalmazása lépett egyre nagyobb súllyal, vagyis az egyszerű rendszerekből a bonyolultabbak felépítése, az új jelenségek megfigyelése és az eszközök létrehozása vált a meghatározó kutatási feladattá, a problémamegoldó megközelítés pedig a fő kutatási stílussá. Az új eszközök pedig általában új lehetőségeket is teremtettek a kutatásban, és így hozzájárultak ismereteink határainak kiterjesztéséhez. Ez a stílusváltás azt is jelenti, hogy a fizika és a kémia közötti határok elmosódóban vannak.

Ennek az irányváltásnak egyik oka a kvantummechanika már említett sikere a második világháború után, ami a fizika forradalmát eredményezte. Új technikák és műszerek jöttek létre, mint például a mikrohullámok, az atomreaktor, a gyorsítóberendezések, a tranzisztorizált, illetve integrált

Lineáris egyenlet:

egy $f=0$ egyenletet a (valós számok fölött) lineárisnak nevezünk, ha az x, y megoldásokra – vagyis ha $f(x)=0$ és $f(y)=0$ – az $f(ax+by)=0$ egyenlet is teljesül, ahol a és b valós számok. A fizikai alkalmazásokban f leggyakrabban egy lineáris differenciálegyenlet (pl. Newton-egyenlet, Maxwell-egyenletek, Schrödinger-egyenlet stb.). A lineáris differenciálegyenletek viselkedése a legjobban megértett és kezelhető a differenciálegyenletek között.

1. ábra. Kísérletek egyedülálló ionokkal

Magmágneses rezonancia vagy nmr:

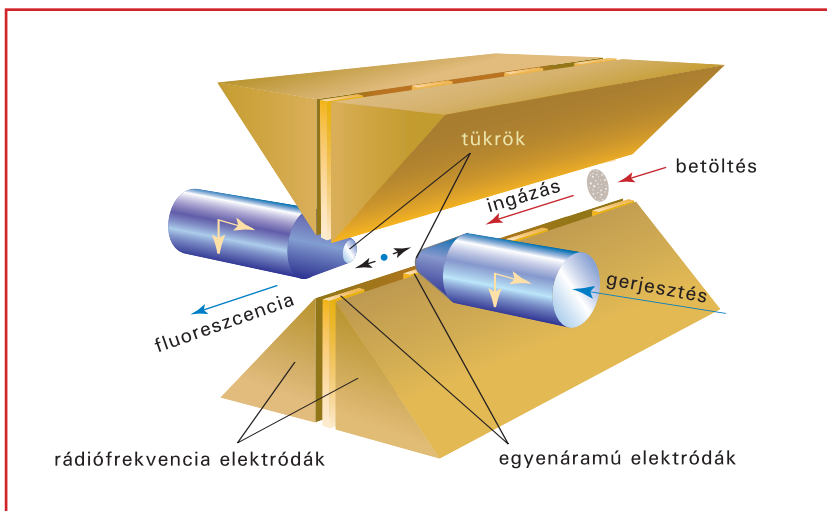
mágneses térbe helyezett atommagok és az elektromágneses sugárzás kölcsönhatásán alapuló jelenség, illetve rendkívül pontos mérési eljárás.

Kriosztát:

alacsony hőmérsékletekre hűthető tartály.

Mézer:

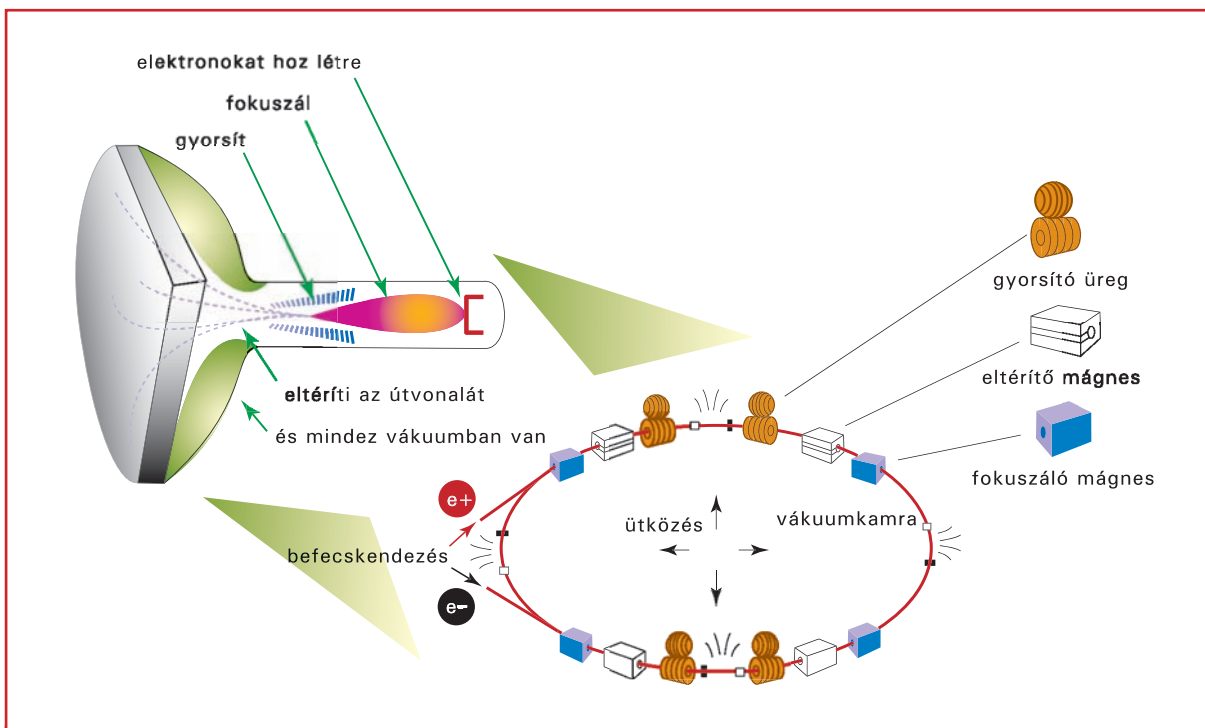
mikrohullámok tartományában működő lézer.



2. ábra. A tv-képcső is gyorsító-berendezés. Az ön tv-jében az elektronok 20 000 voltra gyorsulnak fel. A gyorsítóban az elektronok 100 000 000 000 voltra is felgyorsulhatnak

áramkörös elektronika, a számítógép, a **magmágneses rezonancia** módszere és alkalmazásai, az alacsony hőmérsékleteket biztosító **kriosztátok**, a **mézer** és a lézer, az űrhajózás stb. E változásokat ugyanakkor a társadalomtudomány fizikával kapcsolatos elvárásai is motiválták.

A mai fizikai kutatásban a kétfajta tevékenység – az alaptörvények feltárása, illetve ezek (részben gyakorlati) alkalmazása – egyaránt jelen van, de a hangsúly az utóbbi felé tolódott el. A részecskefizika inkább az első, míg például a szilárdtestfizika és az optika inkább a második kategóriába sorolható. De ez utóbbi területeken is jelentős tevékenység folyik az „egyszerű” rendszerek, például egyes atomok vagy **kvantumállapotok** megértése érdekében (1. ábra), hogy utána ebből bonyolultabb rendszereket modellezhessünk.



Mindkét megközelítési forma a fizikai ismeretek határainak folyamatos kitolódását eredményezte. A továbbiakban ezt példákon kívánom bemutatni; példáimat néhány alapvető fizikai paraméter szerint csoportosítom.

Térbeli kitolódás

Az asztrofizika az egyre növekvő méretű távcsövek és az egyre érzékenyebb detektorok segítségével egyre messzebbre lát. Szenzációt jelentett a Sas-köd Hubble-teleszkóppal megfigyelt három oszlopa, ami a nem szakmai közvélemény figyelmét is felkeltette.

Az asztrofizika az utóbbi évtizedekben óriási fejlődésen ment keresztül. Nemcsak azért, mert az egyre nagyobb távcsövek és egyre érzékenyebb detektorok segítségével egyre messzebbre és jobb felbontóképességgel látunk, hanem azért is, mert a magfizika és a részecskefizika eredményeinek köszönhetően sokat megértettünk a Világegyetemben zajló folyamatokból.

És ez már átvezet az egyre kisebb méretek világába. Jelenlegi ismereteink szerint az ún. Planck-hosszúság – számszerűen $1,62 \times 10^{-35}$ m – az a legkisebb távolság két pont között, amikor ezek a pontok még megkülönböztethetők egymástól. Kísérleti eszközeinkkel azonban még messze vagyunk ettől az elvi határtól. Az egyre nagyobb gyorsítóberendezések célja elsősorban az, hogy ezt egyre jobban megközelítsük (2. ábra).

Az ismerethatár nagyobb távolságokra való kitolásában – és ez a gyakorlati élettől szoros kapcsolatban áll – az űrkutatás vállal jelentős szerepet. Megfigyelhetjük a Föld felületét, a holdra szállást vagy például az űrben keringő

Kvantumállapot:

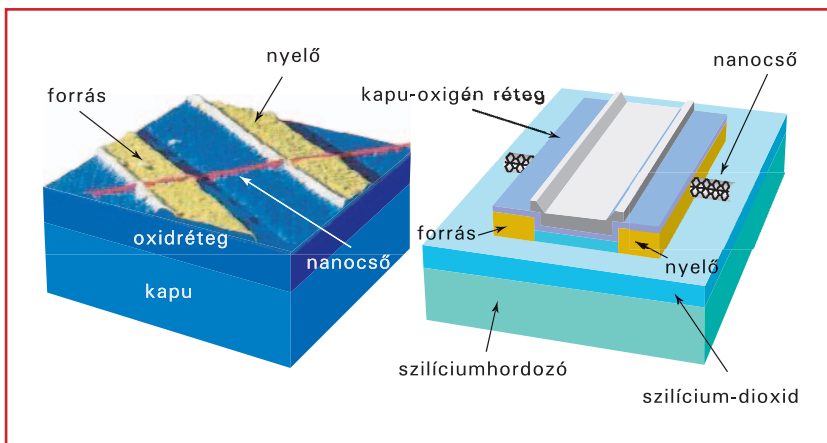
a kvantumelmélet által leírt fizikai rendszerek egy adott pillanatbeli állapotát nevezzük így. A kvantumállapotot az ún. kvantumszámokkal jellemezzük. Például a hidrogénatom elektronjának kvantumszámai a fő-, mellék-, mágneses- és a spin-quantumszám.



Hubble, Edwin (1889–1953)



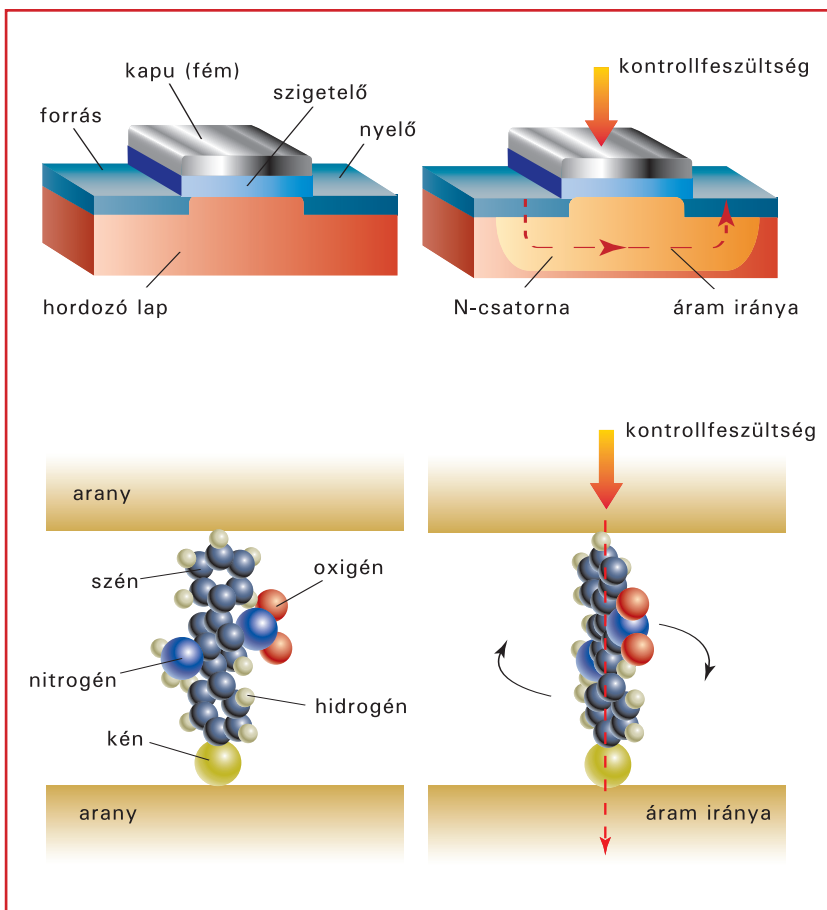
A teremtés három oszlopa
a Hubble-teleszkóp felvétele



3. ábra. Nanotranzisztor

Hubble-teleszkóppal az üstökösöket, ember küldését tervezzük a Marsra stb. De a gyakorlati (pl. elektronikai) alkalmazások mérethatárai is egyre lejjebb tolnak a mikrométerek világából a nanométerek, illetve az atomi méretek világába. Új típusú mikroszkópokkal közel atomi, sőt atomi felbontóképesség érhető el, molekuláris szinten zajló folyamatok modellezhetők stb. Ebben a mérettartományban már sikerült ún. nanotranzisztorokat is létrehozni, sőt laboratóriumi körülmények között építettek már molekuláris tranzisztorokat is (3. és 4. ábra).

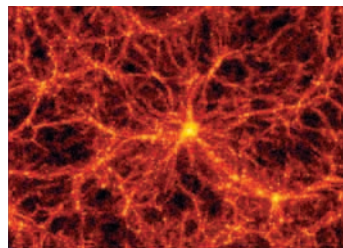
4. ábra. Molekuláris nanotranzisztor összehasonlítása „klasszikus” tranzisztorral



Időbeli kitolódás

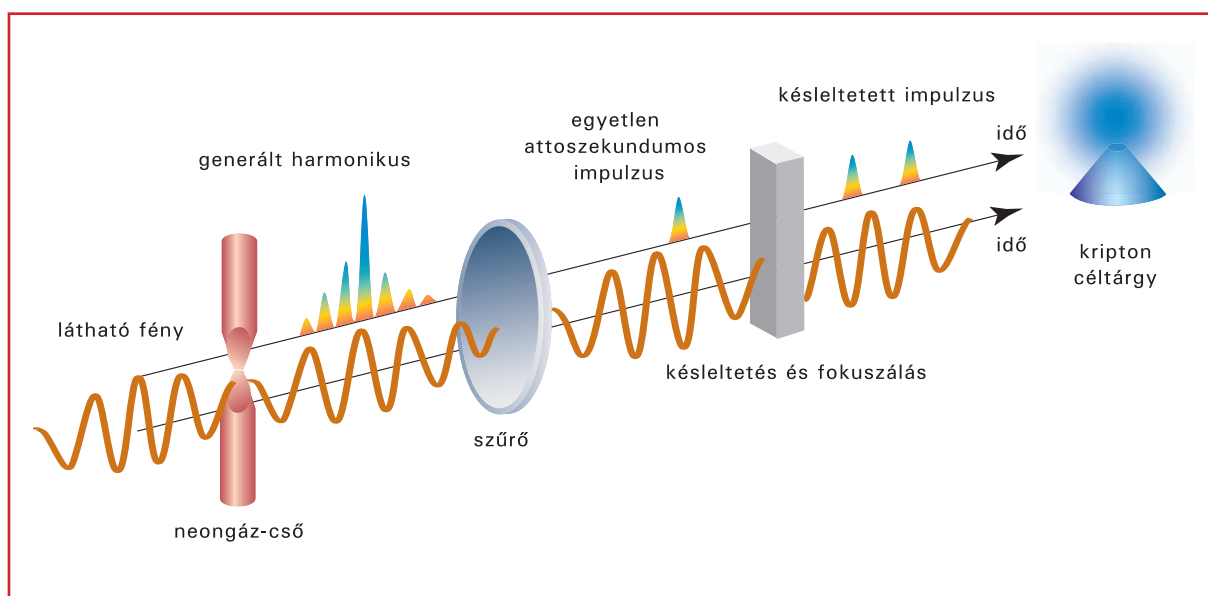
Folyamatosan kitolódnak a fizika időhatárai is. Követni tudjuk a Világegyetem fejlődését az Ősrobbanás utáni 10^{-43} másodperctől napjainkig eltelt mintegy 13,5 milliárd év során, de a rövid idők tartományában is egyre lejjebb jutunk méréseinkkel.

A femtoszekundumos időtartományban (10^{-15} s) működő lézerekkel, melyek már üzletben vásárolható sztenderd berendezések, gyors kémiai folyamatokat tudunk fényképezni, követni tudjuk például a molekulák gyors forgását vagy belső mozgásaikat. A legújabb kutatások eredményeként a lézerek impulzushossza, és így a segítségükkel végzett mérések időfelbontása már az attoszekundumos (10^{-18} s) időtartományt ostromolja (5. ábra).



A Világegyetem egy szegmense kétmilliárd évvel az Ősrobbanás után

5. ábra. Attoszekundumos lézer elvi elrendezése



Energia, teljesítmény, információ

Az asztrofizika megfigyelései szerint a Világegyetem tömegének csak igen kis hányada a látható tömeg (5 százalék). A jelenlegi, legáltalánosabban elfogadott elképzelés szerint mintegy 25 százaléká ún. sötét anyag és 70 százaléká sötét energia ($E = mc^2$) formájában van jelen. Ezen energia milyenségéről még nem sokat tudunk. A másik véglet az ún. **Planck-energia** ($6,63 \times 10^{-34}$ joule/sec). Ez az elvileg elképzelhető legkisebb energiamennyiség, amely sok nagyságrenddel kisebb jelenlegi eszközeink energiateljesítményénél. A kísérleti részecskefizika területén a **kozmosz sugárzás**-ban figyelték meg a legnagyobb energiájú részecskéket ($> 10^{20}$ eV), melyek mozgási energiája nagyobb a teniszszárak szerváldáinak mozgási energiájánál. A kondenzált rendszerekben pedig igen alacsony hőmérsékleteken nK°-os energiákat (10^{-10} eV) is tud kezelni a kísérletező fizikus.

Planck-energia vagy Planck-állandó:

az elektromágneses tér diszkrét egységeit (kvantumjait) leíró állandó, melyet Max Planck német fizikus vezetett be az izzó testek sugárzási törvényének levezetése során. Ezt a kvantumelméletben alapvető fontosságú állandót h -val jelöljük.



Csillagok halála. A Macskaszemköd



Feltételezett fekete lyuk, körülötte gázfelhővel

Kozmikus sugárzás:

nagyenergiás asztrofizikai folyamatokból származó részecske-, illetve elektromágneses sugárzás, mely rendkívül nagy energiájú részecskék záporával árasztja el a Földet. E részecskék legjelentősebb forrása közelsége révén a Nap, de távoli neutroncsillagoktól, fekete lyuktól stb. is juthatnak el hozzánk ilyen részecskék.

Interferencia-jelenség:

hullámtulajdonsággal rendelkező fizikai rendszerek jellegzetes viselkedése, amely hullámok találkozásakor lép fel. Az összetalálkozó hullámok egyes helyeken erősítik, másutt gyengítik egymást, így jön létre a jellegzetes interferencia-kép.

Csillagok születnek és elhalnak, a galaxisok középpontjában ún. fekete lyukak lehetnek, melyek óriási gravitációs vonzásuk eredményeképpen magukba zárják még a fénysugarakat is, és modern távcsöveinkkel mindez lefényképezhető. Képesek vagyunk nagy teljesítményű sugárzást előállítani laboratóriumban, a legegyszerűbben például igen rövid impulzusú lézerekkel, melyekkel atomokat is szétszakíthatunk, sőt elektron–pozitron párok formájában új részecskéket is sikerült már előállítani.

Az információ fizikai mennyiség, és ezért energiatartalma is van. Többek között a Nobel-díjas R. Ph. Feynman foglalkozott azzal, hogy 1 bitnyi információhoz – termodinamikai megfontolások alapján – mekkora energia tartozik. Szerinte 1 bit (irreverzibilis) átviteléhez egy számítástechnikai hálózatban d távolságra ν frekvenciával, T hőmérsékleten

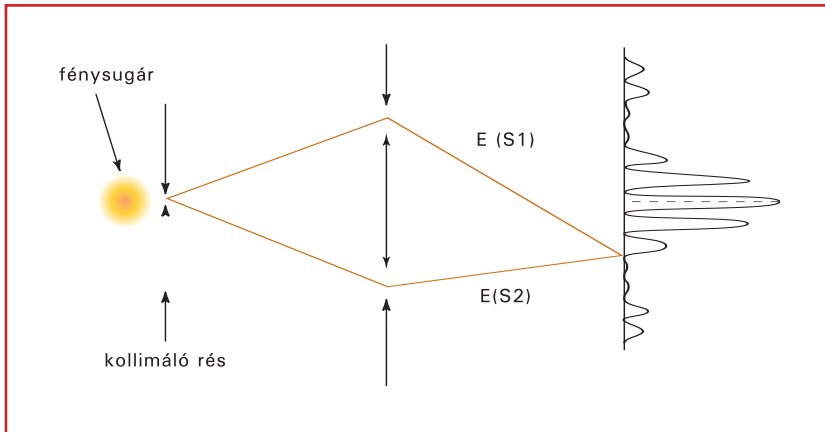
$$E = \frac{k \times T \times d \nu}{c}$$

energia kell, ahol c a fénysebesség.

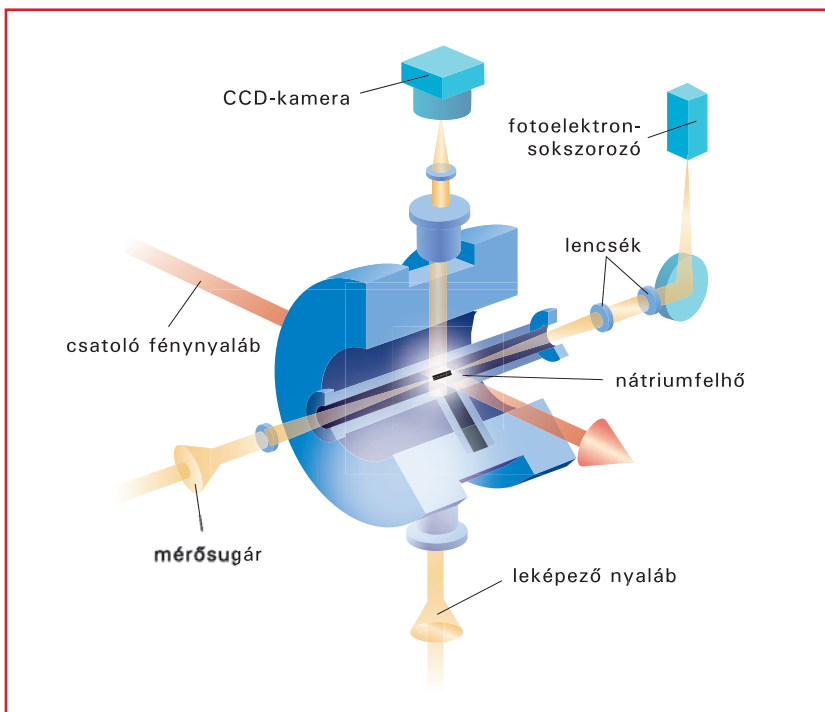
Ez azt jelenti, hogy 1 másodperc alatt 1 watt teljesítménnyel szobahőmérsékleten 50 nanométeres távolság esetén 10^{18} bit továbbítható, ami mintegy 9 nagyságrenddel több, mint amit a szilíciumos integrált áramkörti technológia várhatóan 2010-ben teljesíteni fog.

Azok az eredmények, melyek fényében kvantummechanikai rendszerek is felhasználhatók az informatikában, még ezt a fenti határt is átléphetővé tehetik. Ennek az az oka, hogy a kvantummechanikában két állapot összekeverése is lehetséges állapot. Ekkor **interferencia-jelenségek** lépnek fel, és egyetlen részecske önmagával is interferálhat. Ezt mutatja a 6. ábra is.

A fénysebesség sok más szempontból korlátokat szab a megismerésben, legyen szó a Világegyetem végességéről vagy végtelenségéről, esetleg az információtovábbítás sebességének korlátairól. De ki gondolta volna akár né-



6. ábra. Kétréses interferencia-kísérlet szemléltetése. A kvantummechanika egyes fotonok önmagukkal való interferenciáját (a foton egyszerre mindkét résen áthalad bizonyos valószínűséggel) is megengedi



7. ábra. A fény megállítása

hány évvel ezelőtt, hogy ügyes kísérletek segítségével a fénysugár megállítható néhány milliomod másodpercre, majd változatlan formában továbbengedhető, esetleg információval feltöltve (7. ábra)? Mindehhez csupán az anyag nagyon hideg állapotban lévő új formájára, ennek egy kis térfogatban tartására és két megfelelően választott lézerre van szükség.

Elektromos és mágneses terek

A vizsgált elektromos és mágneses terek tartományát is sikerült kiterjeszteni, egyrészt asztrofizikai mérésekben és laboratóriumi kísérletekben, másrészt földi és ezen belül laboratóriumi megfigyelésekben. A Világegyetemben zajló tágulási folyamatokban az Ősrobbanáshoz kötődő 10^{32} K°-os



Kozmikus háttérsugárzás:

a Világegyetem korábbi, forró korszakából visszamaradt szelíd, mindössze 3 K°-os elektromágneses sugárzás, mely kitölti a világűrt.

Magfúzió:

megfelelő körülmények (pl. nagyon magas hőmérséklet) hatására az atommagok – leküzdve a köztük fellépő elektromos taszítást – egyesülnek. Ez számos esetben energiafelszabadulással jár. Ez a jelenség felelős például a csillagok energiatermeléséért.

elektromágneses sugárzáshoz képest a Világegyetemből jövő **háttérsugárzás** napjainkra $\sim 3 \text{ K}^\circ$ -ra ($\sim 0,3 \text{ meV}$) csökkent a tágulással járó lehűlés miatt, és ezt a széles skálát sikerült – sok esetben laboratóriumi körülmények között is – behatóan tanulmányozni. De lézerek segítségével is igen nagy – és egyre nagyobb – tereket sikerül létrehozni, különösen egyre rövidebb impulzusokban. Már nem túl nagy terek (10^{10} W/cm^2) is, például a lézersugár, önfokuszáláshoz vezetnek, de a 10^{20} W/cm^2 -es teljesítménysűrűség, amit már sikerült elérni, **magfúziót** is indukálhat.

Az anyagok – beleértve az elemi részecskéket – vizsgálatában az ún. szórás kísérletek (részecskenyaláb szórása a vizsgált anyagban) mintegy mikroszkópoként használhatók. A mikroszkópok felbontóképessége pedig az alkalmazott sugárzás (elektromágneses, elektron-, proton- stb.) hullámhosszától függ. Minél nagyobb az egyes szóródó részecskék energiája, annál kisebb a hullámhossza, és így nagyobb a kísérlet felbontóképessége. Ezért építünk egyre nagyobb gyorsítókat. Az igazán nagy energiájú részecskéket azonban a természet produkálja (pl. kozmikus sugárzás formájában). A nagy előrehaladás ellenére a laboratóriumi kísérletek még sok nagyságrenddel elmaradnak akár ezektől a kozmikus sugárzási energiáktól is, nem beszélve az asztrofizikai folyamatok energiáiról.

Eltolódó és áthághatatlan korlátok

Ha egy gondolat nem tűnik első hallásra örültnek, reménytelen.



Nikaiai Hipparkhosz
(Kr. e. 167–121) a csillagos eget
kémléli

Azt remélem, hogy a bemutatott példák szemléletesen bizonyítják, hogy az elmúlt évtizedekben a fizika igen nagy lépéseket tett a körülöttünk lévő világ megismerésének útján, kitolta ismereteink határait. És ez az út még távolról sem ért véget.

E példák azonban egyúttal azt is sejtetik, hogy vannak olyan elvi határok, amelyek áthághatatlanak látszanak. Egy évszázada elég általánosan elfogadott nézet volt, hogy a tudományos megismerés nem ismer korlátokat. Ma már tudjuk, hogy ilyen korlátok igenis vannak. A nem elvi korlátok (gazdasági, környezeti) mellett korlátokat szab például a már említett véges fénysebesség. Igaz ugyan, hogy egyes esetekben ez az akadály megkerülhető, mint például a kvantummechanika törvényeinek felhasználásával a számítástechnikában, de máskor a korlátok – jelenlegi ismereteink szerint – feloldhatatlannak látszanak.

Próbáljuk meg osztályozni a fizikai vagy általánosabban a tudományos megismerés korlátait. Vannak olyanok – és erre számos példát mutattam –, amelyeket fel lehet oldani, de nem könnyen. A Naprendszer leírása például olyan soktest-probléma, amelynek pontos megoldása még a jelenlegi számítástechnika segítségével is igen nehéz. Ugyanez vonatkozik az időjárás előrejelzésére is. A kaotikusan viselkedő rendszerek leírására pedig –



A Cassini-szonda a Szaturnusz felé tart

noha erre jó modelljeink vannak – azért lehet nehezen találni jó megoldást, mert az időbeli folyamatok során az eredmény hibája exponenciálisan nő. Előfordul az is, hogy a válasz azért nehéz, mert rossz a kérdésfeltevés. Ha például a kvantummechanikai leírás során egyszerre kérdezzünk rá egy részecske helyére és impulzusára, akkor nem kapunk jó választ. Ebben a kísérletileg is igazolt elméletben ugyanis az egyik alapvető törvényszerűség az ún. határozatlansági reláció, amely szerint a részecske helyének ismerete impulzusát (sebességét) bizonytalanná teszi. Ugyanez vonatkozik egy adott helyen való tartózkodás időpontja és a részecske energiája közötti kapcsolatra is.

A bizonytalanság oka lehet az is, hogy korlátozott mennyiségű adat áll rendelkezésünkre. Ez vonatkozik például olyan kérdésekre, mint az élet, az emberiség, a nyelv vagy a csillagok eredete. De a korlátot az is jelentheti, hogy a vizsgált objektumból csak egyetlen példány található. Jelenlegi ismereteink szerint ilyen a Világegyetem.

Léteznek természetesen technológiai korlátok is, amelyekre talán leginkább igaz az az állítás, hogy ami ma korlát, az talán már holnapra nem lesz az. Erre sok példát hozhatunk, és az általam bemutatottak közt is több ilyen található.

Hadd említsek csak egyet. A Planck-energia mai eszközeinkkel még nem mérhető, de nem zárható ki, hogy elérjük ezt a határt is. És az is igaz, hogy noha ezt az energiát nem tudjuk mérni, mégis megérthetjük, hogy mi zajlik ezen energiatartományban.

Végül gyakran előfordul, hogy magasabb szinten szerveződő rendszerek nem érthetők meg alacsonyabb szintűek alapján, noha azok önmagukban érthetőek. Ez vonatkozik például az életfolyamatokra, amelyek nem magyarázhatók meg egyedül molekuláris szinten.

Összefoglalva, a fizikai ismeretek tárháza az elmúlt évszázadban lélegzetállító tempóban gazdagodott, és közben ismereteink határai kitolódtak.



Planck, Max (1858–1947)

S bár ismereteink határai korlátokat jelentenek, az új dolgok általában ezen határterületek környezetében születnek.

De mindazon megállapítások, amelyekkel foglalkoztunk, csak azon modellrendszer, illetve elméletek keretében érvényesek, amelyekkel a mai fizika dolgozik, és amelyeket kísérletekkel sikertült meggyőzően igazolni. Nem zárható azonban ki, hogy újabb ismeretek fényében ezen modelleket, illetve elméleteket módosítani kell.

Szót ejtettem példáim között az ún. fekete lyukakról, és arról, hogy a jelenlegi asztrofizika a Világegyetem tömegének csak mintegy 5 százalékát köti a látható anyaghoz, 25 százalékát ún. sötét anyag, 70 százalékát pedig sötét energia formájában képzelel el. Ez utóbbiak létezésének kísérleti igazolása azonban még messze nem meggyőző. Létezik olyan modell is, amely azt tételezi fel, hogy igen kis gyorsulásoknál az a newtoni törvény, amely az erő és a gyorsulás között lineáris összefüggést mutat, nem érvényes. Ez az ún. MOND-elmélet számos megfigyelést meg tud magyarázni, mégpedig sötét anyag feltételezése nélkül. Ezért ha néhány éven belül nem sikerül a sötét anyagot alkotó feltételezett részecskéket (WIMP) megtalálni, e modell népszerűsége nőni fog.

A tudomány nagy tragédiája: egy csodaszép hipotézis megsemmisítése egy csúf tény által.

(T. H. HUXLEY)

WIMP:

a Weakly Interacting Massive Particles angol kifejezés rövidítése. A mai részecskefizika számos olyan új részecskét prognosztizál, melyek nem zérus nyugalmi tömegűek, viszont a szokásos anyaggal való kölcsönhatásuk elenyésző. Egyes elméletekben ezeket a részecskéket tekintik a Világegyetemben levő nagy mennyiségű ún. sötét anyag alkotórészeinek.

Az elmondottak alapján, de sok más ismeretanyag alapján is, melyek bemutatása meghaladja ennek az előadásnak a kereteit, bátran állítható, hogy a fizika a közeljövőben is számos meglepetés forrása lesz, és ismereteink határai tovább tágulnak. Azt hiszem azonban, hogy továbbra is maradnak elvi, áthághatatlan határok, amelyek esetleg módosulnak vagy új formában jelentkeznek, de alapjaikban tovább élnek.

Végül még egy kérdés. Lesz-e a 21. századot formáló Albert Einsteinünk? Noha ezt természetesen kizárni nem lehet, valószínű, hogy századunk új, izgalmas, életünket is befolyásoló felfedezései – és biztos vagyok benne, hogy lesznek ilyenek – csapatmunka eredményei lesznek, és a nagy egyéniségek ezen csapatok meghatározó személyiségei közül kerülnek ki.

Ajánlott irodalom

Brochman, John (szerk.): Az elmúlt 2000 év legfontosabb találmányai. Bp.: Vince K., 2001.

Einstein, Albert – Infeld, Leopold: Hogyan lett a fizika nagyhatalom. Bp.: Móra K., 1971.

Greenstein, George: The Quantum Challenge. Johns and Bartlett Publishers, 1997.

Horgan, John: The End of Science. Broadway Books (1997).

Hudson, Alvin – Nelson, Rex: University Physics. Saunders College Publishing, 1990.

Kaempfert, Valdemar: Details Concepts of Quantum Theory. The NY Times Company, 1927.

Landau, Lev Davidovic – Lifshits, Eugenii Mikhailovich: Elméleti fizika (sorozat 1–10; számos orosz és angol kiadás).

Mark, John E.: Passport to the Cosmos. Crown Publishers Inc., 2000.

Marx György: Beszélgetés marslakókkal. Veszprém: OOK-Press, 1992.

Peebles, Ph. J.: Principles of Physical Cosmology. Princeton University Press, 1993.

Peebles, Ph. J.: The Large Scale Structure of the Universe. Princeton University Press, 1994.

Simonyi Károly: A fizika kultúrtörténete. Bp. Akadémiai K., 1998⁴.

Stark, Stanley: Research Facilities of the Future. Annals of the NY Academy of Sciences. Vol. 735., 1994.

Thoman, Hans: Naturherrschaft. Busse Seewald, 1990.

www.foresight.org/EOC/EOC_Chapter_10.html
nano Engines of Creation (The coming era of nanotechnology) Russel Whitaker

perlnet.umephy.maine.edu (M. C. Whittmann: Student use of multiple models in wave and quantum physics)

ssscott.tripod.com/BigBang.html (Creation of a Cosmology: Big Bang Theory)

